

# 冷凍パン生地における混捏温度の影響

久保 さつき・水谷 令子

## Effect of Mixing Temperature on Frozen Bread Dough

Satsuki KUBO and Reiko MIZUTANI

### 要 旨

パン生地における冷凍障害の機構を分子レベルで明らかにすることを目的とし、冷凍パン生地における混捏温度の影響を膨化及び酵母のアルコール発酵能について実験を行った。パン酵母は、冷凍耐性のものと冷凍感受性のものを使用し、冷凍方法は一般に製パン業界で行われている方法を用いて検討したところ、次の結果が得られた。

パン生地を冷凍すると、混捏温度が高いほどパン生地が一定体積に達するまでに要する時間が長くなった。この傾向は冷凍期間が長くなるほど顕著であった。冷凍感受性酵母は耐性酵母に比べて冷凍貯蔵の影響が大きかった。

アルコール発酵能は、混捏温度が高いと低下する傾向が見られた。冷凍感受性酵母ではこの傾向が顕著であった。

これらのことより、冷凍過程を経ると、混捏時の温度条件が、その後の発酵能に大きな影響を与えることが明らかとなった。

### 1 序 文

製パン業界では、冷凍生地法を適用する場合、原料配合・製造工程を通常どおり行い、工程が仕上げ段階の整形まで終わったところで、 $-30^{\circ}\text{C}$ ～ $-40^{\circ}\text{C}$ くらいでパン生地を急速に冷凍し、 $-20^{\circ}\text{C}$ くらいに貯蔵する方法が理想的とされている。数週間の貯蔵過程で必要に応じて解凍し、ほいろ発酵のみを行って焼き上げ、常に新鮮なパンを提供する。こうして焼かれたパンの品質が、冷凍貯蔵がなかった場合と同じようになることが、この技術の目的とされている。このため、より良い製パン条件を求めて研究が行われている。<sup>(1)(2)(3)</sup> 前報<sup>(1)(2)(3)</sup>において、私たちは冷凍障害に関するいくつかの知見を得ている。すなわち、酵母が発酵・活性化されると、凍結に耐えられなくなること、冷凍条件が影響を与えること、パン生地の膨化の結果も、同様の傾向であること、パン生地のアルコール発酵能は、冷凍後、貯蔵期間が長くなるほど低下すること

である。しかし、これらは、冷凍・貯蔵条件が $-15^{\circ}\text{C}$ 及び $-50^{\circ}\text{C}$ で行った結果である。そこで、本実験では、冷凍・貯蔵条件を実情にあった条件に変えて実験を行い、混捏温度がパン生地の膨化とアルコール発酵能に及ぼす影響について検討した。

## 2 材料と方法

### 2・1 材 料

パン酵母はオリエンタル酵母工業株式会社製の圧搾酵母（菌株名：*Saccharomyces cerevisiae*）レギュラーとFD-1を用いた。レギュラーは冷凍感受性酵母，FD-1は冷凍生地製パン用に開発された冷凍耐性酵母である。パン生地調製には日清製粉強力粉カメラア，市販上白糖，雪印乳業製ショートニング，市販1級試薬塩化ナトリウムを用いた。酵母のアルコール発酵能の測定には市販1級試薬で調製したHaydack液を用いた。水は蒸留水を用いた。

### 2・2 パン生地（ドウ）の調製法と冷凍・解凍法

ドウは前報<sup>(3)</sup>に示す配合で調製した。ショートニング以外の材料をパン捏ね機（大正電機株式会社製レディースニーダー KN-30型）に入れ，5分間捏ね，ショートニングを加えてさらに15分間捏ねた。混捏後，ドウを50gずつに分割・整形し，4個を直ちに膨化およびアルコール発酵能の測定に使用し，残りすべてを冷凍した。冷凍はドウがお互いに接触しないようにバットに並べ $-40^{\circ}\text{C}$ （三洋電機株式会社製超低温フリーザー MDF-192型）で行った。2時間後，凍っていることを確認後，ビニール袋に入れ， $-20^{\circ}\text{C}$ （日本フリーザー株式会社製バイオフィリーザー GS-3003型）に移し，貯蔵した。解凍は凍ったドウを冷凍庫から冷蔵庫（ $5^{\circ}\text{C}$ ）へ移し15時間かけて行った。

### 2・3 ドウの膨化測定法

ドウの膨化は，50gのドウを200ml容メスシリンダーに入れ， $30^{\circ}\text{C}$ で保温して，その容積変化を10分毎にメスシリンダーの目盛りを読むことにより測定した。<sup>(4)</sup>

### 2・4 ドウ中の酵母の活性測定法

ドウ中の酵母が生育するに従って消費する培地中のショ糖量を測定し，アルコール発酵能として酵母の活性を求めた。<sup>(5)</sup>100ml容発酵用三角フラスコに50ml Haydack液を入れ，綿栓をして常法通り滅菌し，滅菌完了後ドウ2g（ $\pm 0.1\text{g}$ ）を加え， $30^{\circ}\text{C}$ で静置培養した。培養中発酵フラスコをときどき取り出し塩化カルシウム管をつけてよく振り培養液中の $\text{CO}_2$ を放った後，発酵フラスコの重量を秤量して，培養前の重量との差を求め，アルコール発酵能の指標とした。

### 3 結 果

#### 3・1 ドウの膨化

混捏温度を変えてドウを調製し、冷凍（ $-40^{\circ}\text{C}$ ）・貯蔵（ $-20^{\circ}\text{C}$ ）後、一定期間後解凍してドウの膨化を測定した。結果を表1に示した。表中の数字はドウ容積が最初の2.0倍及び3.0倍に達するまでの時間（分）を示している。この時間が短いほど、ドウ中の酵母が活発に増殖していることになる。冷凍貯蔵期間が一定の場合、混捏温度が高いほど、ドウの膨化時間が長くなった。また、冷凍期間が長くなると、混捏温度の違いに関わらず、ドウの膨化時間が長くなった。また、冷凍貯蔵期間が一定の場合、混捏温度が高いほど、ドウの膨化時間が長くなった。冷凍感受性酵母レギュラーでは、耐性酵母FD-1に比べ、これらの傾向が著しかった。レギュラーでは、混捏温度 $30^{\circ}\text{C}$ 、冷凍貯蔵期間35日の時、ドウが2.0倍に膨化するのに、2時間以上を要することになり、かなり深刻な冷凍障害を受けていることが明らかになった。前報<sup>(3)</sup>では混捏温度の影響がはっきり確認できなかったが、今回の実験では冷凍パン生地における混捏温度の影響が確認できた。

表1 パン生地の膨化における混捏温度の影響

生地 の 膨 化 時 間	酵 母 の 種 類	冷 凍 期 間 (日)								
		0			14			35		
		混捏温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )			混捏温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )			混捏温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )		
		0	10	30	0	10	30	0	10	30
2.0倍になる までの時間 (分)	FD-1	27	23	21	29	33	42	39	39	66
	レギュラー	31	25	17	38	45	79	45	57	>120
3.0倍になる までの時間 (分)	FD-1	49	45	43	55	64	75	82	105	>120
	レギュラー	53	46	37	62	87	>120	>120	>120	>120

50gのパン生地を200ml容メスシリンダーに入れ、 $30^{\circ}\text{C}$ に保温して経時的に増加する容積を読みとった。表中の数字はパン生地容積が最初の2倍及び3倍に達するまでの時間（分）を示す。

#### 3・2 ドウ中における酵母の活性

ドウのアルコール発酵能における混捏温度の影響を調べた結果を表2、表3に示した。表2はFD-1、表3はレギュラーをそれぞれ用いた結果である。表中の数値は、5試料測定したものの平均値である。FD-1は、貯蔵期間が14日の場合、混捏温度が高いと、アルコール発酵能が低下する傾向にあった。しかし、35日では、この傾向があまりはっきりみられなかった。すなわち、冷凍耐性酵母では、その増殖に、混捏温度、冷凍貯蔵期間の影響をあまり受けないことを示唆する結果が得られた。それに対して、レギュラーは、混捏温度が高いほど、アルコール発酵能は低下し、また、その傾向は、冷凍貯蔵期間が長いほど顕著であった。

表2 FD-1酵母を用いたパン生地アルコール発酵能における混捏温度の影響

冷凍期間 (日)		0			14			35		
混捏温度 (°C)		0	10	30	0	10	30	0	10	30
培養時間 (時間)	20	0.204	0.241	0.306	0.273	0.262	0.252	0.226	0.265	0.254
	25	0.452	0.491	0.554	0.516	0.501	0.490	0.485	0.527	0.501
	30	0.701	0.740	0.802	0.770	0.722	0.739	0.752	0.778	0.725
	50	1.196	1.214	1.303	1.311	1.281	1.282	1.290	1.235	1.260

冷凍貯蔵温度 -20°C

アルコール発酵能は培地の減少量 (g) で示した。

表中の数値は5試料測定したものの平均値である。

表3 レギュラー酵母を用いたパン生地アルコール発酵能における混捏温度の影響

冷凍期間 (日)		0			14			35		
混捏温度 (°C)		0	10	30	0	10	30	0	10	30
培養時間 (時間)	20	0.216	0.295	0.299	0.202	0.195	0.132	0.192	0.188	0.115
	25	0.447	0.510	0.530	0.438	0.402	0.328	0.430	0.396	0.300
	30	0.678	0.755	0.760	0.670	0.650	0.514	0.645	0.603	0.505
	50	1.228	1.257	1.250	1.203	1.163	1.050	1.189	1.133	0.950

冷凍貯蔵温度 -20°C

アルコール発酵能は培地の減少量 (g) で示した。

表中の数値は5試料測定したものの平均値である。

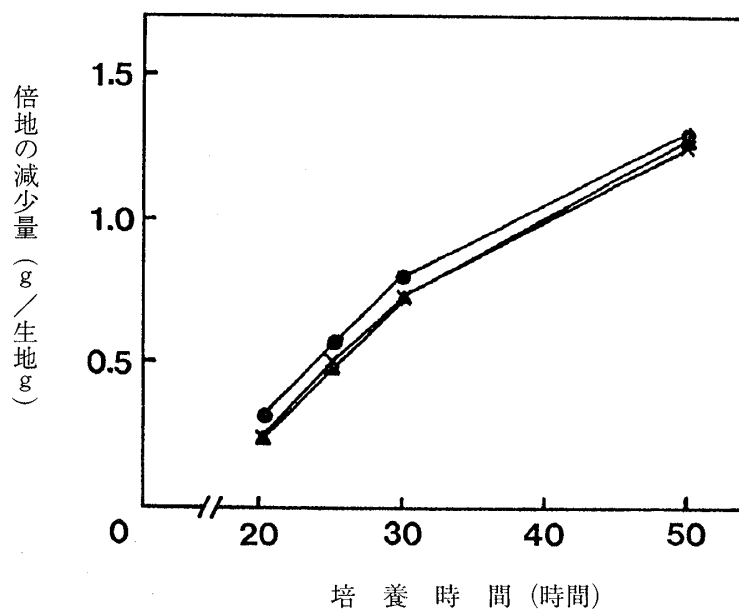


図1 FD-1酵母使用生地の冷凍貯蔵中のアルコール発酵能の変化

●貯蔵0日, ▲貯蔵14日, \*貯蔵35日

貯蔵温度 -20°C, 混捏温度 30°C

混捏温度 $30^{\circ}\text{C}$ について得られたデータを図1, 図2にまとめて示した。図1はFD-1, 図2はレギュラーの結果である。FD-1では冷凍貯蔵期間の影響が, ほとんど見られなかった。しかし, レギュラーは冷凍貯蔵することにより, アルコール発酵能がかなり低下することが明らかとなった。また, 冷凍貯蔵期間の差はあまり影響がなかった。これらの結果はFD-1で<sup>(3)</sup>冷凍の影響がほとんど観察されなかったこと以外は前報の結果とほぼ一致した。

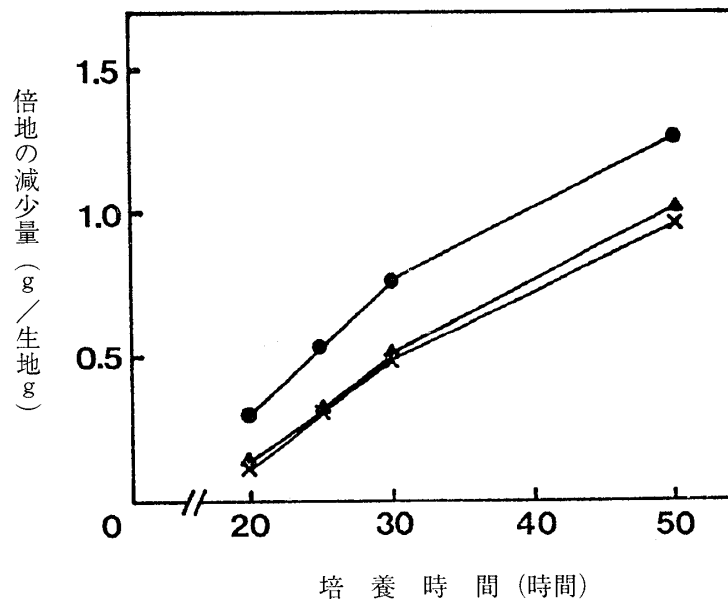


図2 レギュラー酵母使用生地の冷凍貯蔵中のアルコール発酵能の変化

●貯蔵0日, ▲貯蔵14日, ×貯蔵35日  
貯蔵温度  $-20^{\circ}\text{C}$ , 混捏温度  $30^{\circ}\text{C}$

#### 4 考 察

熟成過程を経て定常期に分離され, 冷蔵されている圧搾パン酵母は, 高い凍結貯蔵性を持っている。<sup>(6)</sup>田中は $-20^{\circ}\text{C}$ に凍結貯蔵した圧搾酵母が1年後でも90%近い生存率と生地内ガス発生能とを保持していると報告している。このような休眠状態における酵母は高い冷凍耐性を持っており, これをパン生地に混入して無発酵で直ちに冷凍した場合は, あまり冷凍障害は生じない。しかし, 生地を捏ねた後, しばらく発酵させ, 酵母の活性増大が起こってから冷凍すると凍結障害が起こり, 解凍後の発酵能が著しく低下する。このように凍結前に発酵させた前発酵冷凍生地から焼き上げたパンの品質は無発酵冷凍生地からのパンに比べて著しく低下してしまう。冷凍生地において, 酵母の凍結障害が特に問題になるのは前発酵冷凍生地の場合であるが無発酵の場合でも捏ね上げ温度が高く, 混捏後ある程度の時間経過があったり, ねかし時間をとった場合などには凍結障害が現れるといわれている。<sup>(7)</sup>本実験で行ったドウの膨化実験及び

アルコール発酵能の実験結果では、混捏後、ほとんど時間経過がなかったにも関わらず、混捏温度が高い条件では、凍結障害が現れた。これは、捏ね上げ後、生地を50gずつに計量し整形する時、多少の時間を要したことと、 $-40^{\circ}\text{C}$ で凍らせた時、実際に温度が低下するのにある程度の時間を要したからであると考えている。事実、1時間後においても、完全に凍結していなかった。厚さ4cmのパン生地 ( $30^{\circ}\text{C}$ ) 170gを冷蔵室に入れた場合、設定温度まで下がるのに約2時間要するという報告<sup>(1)</sup>があり、凍結するまでの間にも、ある程度発酵が進んでいたことになる。

休眠状態の酵母が $30^{\circ}\text{C}$ の培地中に添加されたときの生理的变化は、1時間くらいまでの間に急速に発酵活性の増大が起こり、その後は安定的に高い発酵活性が保たれるという報告がある。<sup>(8)</sup>出芽は1時間を過ぎる頃から始まるが、これらの酵母の冷凍耐性をみると、前発酵時間の増大に伴って凍結障害を強く受けやすくなっている。パン生地については15分までは前発酵の影響は生じないが、30分から凍結障害が現れ、時間の増大と共に著しくなっている。これらの結果からパン生地を安全に冷凍するための許容時間は $30^{\circ}\text{C}$ で15分にすぎないことになるといわれている。

前発酵の影響は酵母の生理的变化の他に、前発酵中に生成される代謝産物の影響があると考えられている。特にエタノールの影響が注目されている。<sup>(2)</sup>

また、冷凍によるパン生地の製パン性低下の原因は、酵母の冷凍障害によるものの他に、生地の凍結損傷に起因するものがある。それは、タンパク質の凍結変性、氷結晶の成長に伴うグルテンの網目構造の損傷、氷結晶の成長に伴う水和生地成分からの脱水、損傷酵母からの還元性物質の流出等が考えられている。この中で最も大きな影響を与えるのは、損傷酵母から流出する還元型グルタチオンといわれている。そのため、冷凍生地の場合、酸化剤として、アスコルビン酸を添加したり、生地改良剤として、ステアリル乳酸カルシウムを添加したりしている。その他、解凍後の整形操作は、グルテン構造の再編成、解凍時の温度むら・発酵むらの均一化、酵母の均一化、水分の均一化と再水和等の効果があると考えられている。<sup>(2)</sup>

冷凍耐性酵母の開発は、1980年代から行われ、<sup>(9) (11)</sup> 実用化されているものもある。その1つが本実験で用いたFD-1酵母である。一般に、冷凍耐性酵母では、膜の性質の差を示唆する脂質の組成差について報告されている。<sup>(9) (12) (13)</sup> また、細胞壁構造における差が示唆されており<sup>(9) (14)</sup> 走査型電子顕微鏡写真、透過型電子顕微鏡写真により、膜構造の違いが明らかにされている。

このように、冷凍パン生地についてはかなり研究が進んでいる。私たちは、今後、パン生地の物性に注目し、冷凍による影響をレオロジーの立場から研究していきたいと考えている。また、生地改良剤としての添加物の効果についても検討していきたいと考えている。

最後に、本研究を行うにあたり、酵母を提供してくださいました、オリエンタル酵母工業株式会社の竹森保夫氏に感謝いたします。

## 参考文献

1. 田中康夫, 中江利昭: 冷凍生地の理論と実際, 食研センター (1982)
2. 田中康夫, 松本博共編: 製パンプロセスの科学, 光琳 (1991)
3. 久保さつき, 水谷令子: 鈴鹿短期大学紀要, 第12巻, p.63 (1992)
4. 岡野節子, 岩崎ひろ子, 水谷令子: 鈴鹿短期大学紀要, 第9巻, p.107 (1989)
5. 京都大学農学部農芸化学教室編: 新改版 農芸化学実験書, 第2巻 p.835 (1976)
6. 田中康夫: パン科学会誌, **32**(5), 4 (1986)
7. Sugihara, T. F., & Kline, L.: *Baker's Dig.*, **42**(5), 51 (1968)
8. 田中康夫: 日本コールドチェーン研究会誌, **10**(1), 2 (1984)
9. 安藤正康他: 凍結及び乾燥研究会誌, **29**, 16 (1983)
10. 田中康夫: 化学と生物, **24**, 564 (1986)
11. Young-Sook Hahn & Hiroyasu Kawai: *J. Home Econ. Jpn.*, **41**(2), 115 (1990)
12. 田中康夫, 嶋田昇二, 斉藤拓: 酵母の増殖と利用, p.211, 学会出版センター (1985)
13. 新本洋士, 渡部保央他: 日本農芸化学会誌, **63**(1), 25 (1989)
14. 日野明寛: 化学と生物, **28** (11), p.736 (1990)